

С. Р. Рахманов /к. т. н./

Национальная металлургическая академия Украины, ООО НПФ «Восток Плюс», г. Днепро, Украина

Я. В. Фролов /д. т. н./

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепро, Украина

А. А. Пузенко

ООО «ЛЮБ СИСТЕМС»

## Холодная пильгерная прокатка труб с применением технологических смазок и масляной смазочно-охлаждающей жидкости

S. R. Rakhmanov /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine, LLC NPF "Vostok Plus", Dnipro, Ukraine

Ya. V. Frolov /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

A. A. Puzenko

LLC "LYUB SYSTEMS"

## Cold pilger rolling of pipes using technological lubricants and lubricating oil

**Цель.** Повышение эффективности процесса холодной пильгерной прокатки труб путем совершенствования системы технологических смазок и масляных СОЖ.

**Методика.** Комплексный анализ систем технологических смазок и масляных СОЖ. Совершенствование конструкций систем технологических смазок и масляных СОЖ? применяемых при холодной пильгерной прокатке труб.

**Результаты.** Определены рациональные условия реализации процесса холодной прокатки труб с учетом применения технологической смазки и СОЖ в соответствующих зонах очага деформации.

**Практическая значимость.** Разработана современная система технологической смазки и масляной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) для модернизированных станков ХПТ. В условиях ряда предприятий (ООО «ПО «ОСКАР», ООО ВТУ «Титан Украина» и ООО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШИН УКРЕЙН») при производстве холоднокатаных труб на базовом оборудовании станков ХПТ 32, ХПТ 55 и ХПТ 90 установлены различные системы технологических смазок и масляной (СОЖ) конструкции ООО «ЛЮБ СИСТЕМС» и ООО НПФ «Восток Плюс» третьего поколения. (Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.)

**Ключевые слова:** очаг деформации, трение, труба, стан, холодная пильгерная прокатка, технологическая смазка, смазочно-охлаждающая жидкость.

**Введение.** Возрастающие потребности в холоднодеформированных трубах из высоколегированных сталей, сплавов титана, циркония и других металлов, в своем большинстве труднодеформируемых, обуславливают определенные тенденции к увеличению производства такой продукции способом холодной пильгерной прокатки (ХПТ). Развитие технологии и оборудования для реализации процессов ХПТ позволило улучшить геометрические показатели качества, максимально приблизив их вплотную к качеству прецизионных труб, получаемых другими способами (например, волочения), при существенном преимуществе в производительности и цикличности технологических операций [1].

### Состояние вопроса и метод решения задачи.

В настоящее время способом холодной прокатки большинство труб производят из высоколегированных сталей, титана, циркония и различных сплавов при удовлетворении самых жестких требований по качеству.

Мировой прогресс в развитии способа ХПТ базируется на фундаментальных исследованиях, основателями которых являются выдающиеся отечественные ученые: П. Т. Емельяненко, Ю. Ф. Шеввакин, Я. Е. Осада, В. Ф. Фролова, М. В. Попова и другие.

Исследования, проведенные с участием большинства авторов, показывают, что возможности способа ХПТ в части увеличения степени дефор-

мации металла за один проход, повышения производительности и улучшения качества прокатываемых труб далеко не исчерпаны. Дальнейшее развитие вышеизложенного базируется на раскрытии скрытых и неиспользованных технологических возможностей данного способа в сочетании с новыми конструктивными особенностями современных станов ХПТ.

На формирование процесса ХПТ существенное влияние оказывает внешнее трение на контактных поверхностях металла с технологическими инструментами, далее называемое трением. Кинематические условия самого процесса, режим прокатки и распределение частных обжатий по длине рабочего конуса приводят к тому, что силы трения оказывают решающее воздействие на качество поверхности прокатываемых труб, износ деформирующих поверхностей инструмента и энергосиловые параметры процесса пильгерной прокатки труб. Процессы холодной прокатки труб на станах ХПТ с удовлетворительными результатами в современных условиях без специальных технологических смазок во многом реализовать невозможно.

Рассмотрим результаты анализа особенностей формирования трения при реализации интенсивных процессов ХПТ с учетом применения различных технологических смазок и масляных смазочно-охлаждающей жидкостей (СОЖ).

Фундаментальные вопросы и базовые механизмы формирования внешнего трения в условиях холодной периодической прокатки достаточно хорошо освещены в работе [2] и представлены определенными этапами. Проанализируем результаты исследований технологических процессов холодной пильгерной прокатки труб на основе многолетнего опыта эксплуатации отечественных станов ХПТ с применением адаптированных к реальным условиям технологических смазок и СОЖ.

Исследования показывают, что так называемое сухое трение, как правило, возникает на внутренней и наружной поверхностях прокатываемых труб и технологических инструментов (оправок и калибров). В данном случае отсутствует специальная контактная среда, которая выполняет функции технологической смазки (пластические, оксидные, медные, фосфатные и др. пленки). Микронеровности поверхностей прокатываемого металла и рабочих инструментов вступают в непосредственный контакт, и в большей или меньшей степени (в зависимости от соотношения твердостей) возникают благоприятные условия их разрушения. При известной степени физико-химического сродства взаимодействующих металлов и достаточных высоких контактных напряжениях может происходить схватывание (сваривание) в

объемах контакта микронеровностей, обычно называемое налипанием металла на технологические инструменты. Налипание на технологические инструменты приводит к ухудшению поверхности прокатываемых труб, оставляя на них частицы металла, царапины, вмятины и задиры. Налипание металла также оказывает негативное влияние на рабочие поверхности технологических инструментов. При удалении налипшего металла с рабочей поверхности калибра велика вероятность нарушения упрочненной рабочей поверхности и исходной калибровки. Налипание на контактной поверхности «металл – оправка» вызывает заметное увеличение усилия срыва оправки, что в ряде случаев приводит к обрыву самой оправки и аварийной остановке стана ХПТ.

Механизм граничного трения при осуществлении процессов ХПТ порождается тяжело нагруженными условиями взаимодействия поверхности металла и технологических инструментов, покрытых тончайшими прочными пленками смазки. Такие пленки образуются при наличии в смазке наполнителей в виде поверхностно активных веществ, молекулы которых имеют определенную полярность. Полярные молекулы этих веществ образуют на поверхности металла плотноупакованные слои, напоминающие структуру кристаллов. Эти слои способны выдерживать значительные технологические нагрузки и достаточно легко реагируют на сдвиговые условия друг относительно друга. Граничное трение обеспечивает наилучшую приработку поверхности прокатываемого металла к рабочим поверхностям технологических инструментов. При этом за счет деформации или отслаивания микронеровностей существенно снижается шероховатость поверхностей прокатываемых труб.

Формирование вязкого (жидкостного) или квазжидкостного трения в условиях ХПТ происходит при наличии между прокатываемым металлом и инструментами сравнительно тонкого слоя смазки жидкой фазы. Для поддержания данного механизма трения применяют, например, солевые смазки на основе графита. При этом роль жидкой фазы играет расплав солей, а квазжидкостное трение происходит между слоями графита, имеющими высокоразвитую пластинчатую структуру и чрезвычайно легкую делимость частиц графита на тончайшие слои.

При жидкостном трении в очаге деформации скольжение металла относительно поверхностей инструментов происходит без их соприкосновения, а при квазжидкостном трении, когда микронеровности оказываются в условиях соприкосновения, скольжение происходит между чешуйками графита. Важнейшую роль графита, хотя и с меньшим эффектом, могут выполнять

## ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

специальные наполнители: мелкодисперсная из-весть, нитрид бора (белый графит) и др.

На практике в «чистом» виде сухое, граничное и жидкостное трение встречаются редко. В начальной стадии обжатия трубы-заготовки чаще всего наблюдаются различные комбинации сил трения. По мере увеличения частных обжатий по рабочему конусу происходит выдавливание технологической смазки из очага деформации и сближение поверхностей металла и инструментов. На отдельных участках может возникать граничное или квазжидкостное трение, а при местном разрыве смазочной пленки – сухое трение, приводящее чаще всего к налипанию металла на технологические инструменты.

При реализации интенсивных процессов ХПТ с применением масляных сред следует различать роль технологической смазки и некоторых СОЖ (например, на водной основе). Существенно отличаются условия взаимодействия аналогичных СОЖ в очаге деформации на рабочих поверхностях заготовки – трубы и технологических инструментов.

Условия формирования трения и взаимодействия технологической смазки на внутренней поверхности конуса оправки с прокатываемым металлом существенно отличаются от наружной – с профилированными калибрами. В связи с этим требования к технологической смазке для внутренней поверхности отличаются от требований к СОЖ, выполняющей также функцию теплоносителя, отводящего избыточное тепло от наружной поверхности рабочего конуса трубы и калибров (валков). На контактной поверхности «металл – оправка» имеет место исключительно трение скольжения металла. В то же время на контактной поверхности «металл – калибр» присутствует как трение скольжения, так и трение качения в различных комбинациях. Средняя скорость скольжения металла по оправке значительно ниже, чем на отдельных участках контактной поверх-

ности ручья калибра. Чем больше разница между естественным катающим радиусом и радиусом делительной окружности ведущих шестерен, тем больше скорость скольжения металла по ручью. В зонах контактной поверхности ручья, где данные параметры максимально близки, трение скольжения практически отсутствует, уступая место трению качения.

Смазка, нанесенная на внутреннюю поверхность заготовки, покрывает также и стержень оправки, накапливается во внутренней полости заготовки и поступает на оправку через кольцевой зазор, образующийся в результате совершенной подачи трубы-заготовки в очаг деформации (снятие с рабочего конуса оправки). Параметры этого зазора зависят от конусности оправки и величины подачи. Чем больше величина дискретной подачи и конусность оправки, тем больше фактический зазор. Отметим, что при использовании оправок переменной калибровки величина необходимого зазора по длине рабочего конуса будет также переменной.

Таким образом, необходимая порция смазки, вовлеченная заготовкой через указанный зазор на оправку, не возобновляется, воспринимает температуру оправки и периодически выжимается в каждом мгновенном очаге деформации, в радиальные зазоры, образующиеся между металлом и оправкой в зонах, соответствующих характерным выпускам калибра. Порция смазки в пределах обжимной зоны многократно подвергается воздействию знакопеременных нагрузок. За счет протекания процессов термической деструкции при повышенных температурах смазка изменяет свои реологические свойства (в первую очередь вязкость) и частично химический состав. Улучшению условий работы стана ХПТ способствует принудительная подача смазки в очаг деформации и вовнутрь трубы-заготовки непосредственно через стержень оправки специальным устройством (рис. 1а).

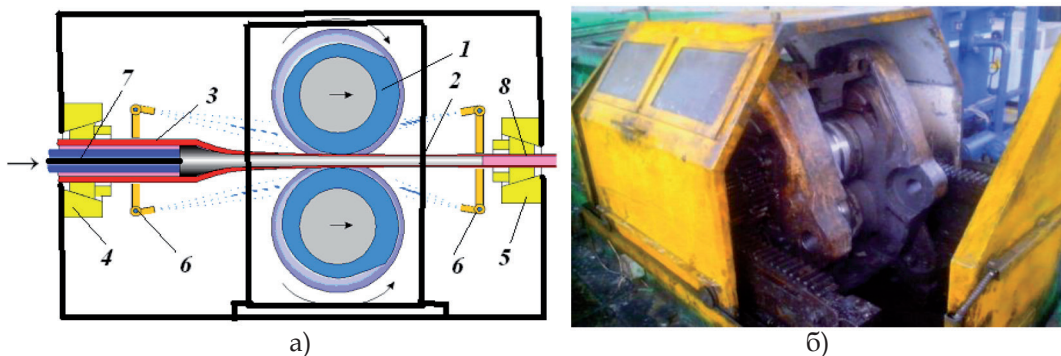


Рис. 1. Система подачи технологической смазки и СОЖ на поверхности ручья и рабочего конуса а) и рабочее пространство клетки стана ХПТ 32:

1 – валок с калибром; 2 – оправка; 3 – труба – заготовка; 4 – патрон промежуточный; 5 – патрон передний; 6 – форсунка (спреер); 7 – стержень оправки; 8 – готовая труба

В отличие от технологической смазки, масляная СОЖ взаимодействует не только с металлом рабочего конуса и рабочей поверхностью ручья, но и с другими поверхностями калибров и валков. Масляная СОЖ, которая подается струями специальных форсунок, постоянно возобновляется, как на поверхности ручья и рабочего конуса перед входом в очаг деформации, выполняя функцию смазки, так и на остальных поверхностях прокатываемого металла и калибра, выполняя функцию охлаждающей жидкости – теплоносителя (рис. 1б).

Различия в требованиях к технологическим смазкам и СОЖ вытекают из особенностей механизма взаимодействия технологических инструментов с прокатываемым металлом.

Технологические смазки, предназначенные для реализации рациональных режимов ХПТ, должны удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать условия граничного взаимодействия или трения на поверхности оправки; обладать вязкостью, позволяющей удерживаться на внутренней поверхности заготовки достаточным слоем, вовлекаемым в очаг деформации; предотвращать налипание металла на оправку – обладать эффективными противозадирными свойствами; выдерживать, обусловленные самим процессом температуры, например, до 350 °С без возгорания, существенного изменения реологических и смазочных свойств и без выделения нежелательных вредных веществ; не вызывать сложностей при удалении с поверхности готовой трубы и не оказывать вредного воздействия на окружающую среду и рабочий персонал; обладать приемлемой стоимостью.

Следует признать, что до настоящего времени технологических смазок, полностью удовлетворяющих перечисленным выше требованиям, не найдено.

Далее рассматриваем лишь определенные технологические смазки, получившие относительно широкое промышленное применение в наиболее сложных условиях деформации, а именно при холодной прокатке труб из нержавеющей стали, титана и специальных сплавов, обладающих высоким сопротивлением деформации и склонностью к налипанию на технологические инструменты. Параметры технологических смазок и количественные характеристики их базовых свойств, являются предметом отдельных исследований.

На ранних этапах освоения процессов ХПТ из нержавеющей стали в качестве технологической смазки применяли часто смесь машинного (минерального) масла с серебристым графитом. Эта смазка обеспечивала удовлетворительное течение металла в процессе прокатки трубы, практически, без налипания на оправку и калибры. Серьезным недостатком этой смазки являлась сложность ее

полного удаления с поверхностей труб. Как правило, смазку удаляли путем выжигания масляной смеси в камерной печи при температуре не выше 600 °С. Далее трубы подвергали травлению в кислотах и последующей обильной промывке. Добиваясь полного удаления остатков смазки, трубы в ряде случаев по необходимости многократно перетравливали, что делало их непригодными к дальнейшей обработке.

Применение технологической смазки в виде пастообразной смеси касторового масла с мелкодисперсным тальком в некоторых случаях приводило к налипанию металла и смазки на оправку.

Исходя из результатов исследований [1] следует, что значительное уменьшение вязкости касторового масла с повышением температуры очага деформации приводит к резкому утонению смазочного слоя на контактной поверхности «металл – оправка».

Для противостояния процессам налипания металла к технологическим инструментам применяют омеднение труб-заготовок и другие типы твердых подсмазочных покрытий. Под действием высоких давлений и температуры в очаге деформации на большей части оправки трение переходит из жидкого состояния в квазижидкостное и сухое, поскольку тальк не обладает высокой стойкостью, как, например, графит [3; 4]. По этой причине медное покрытие на отдельных участках трубы истирается, и металл приходит в непосредственное соприкосновение с оправкой. В результате появляются налипание металла на инструмент и известные негативные последствия, что вынуждает уменьшать величину подачи и степень деформации металла за рабочий проход.

К числу достоинств смазок на основе касторового масла или других жиров растительного или животного происхождения следует отнести их относительно легкую удаляемость с поверхности готовых труб.

При химической обработке труб в растворе сильных щелочей эти смазки смываются. Далее для окончательной промывки переходят на водорастворимое мыло, хорошо удаляемое чистой водой, однако остатки твердого подсмазочного слоя (медное покрытие) приходится удалять исключительно травлением.

Смазочные композиции на масляной основе имеют в качестве компонентов синтетические жирные кислоты, жидкие парафины и другие противозадирные, полирующие присадки, включая поверхностно активные вещества [4]. Применение в качестве основы синтетических масел, отличающихся меньшим падением вязкости с ростом температуры в очаге деформации, способствует повышению толщины смазочного слоя на контактной поверхности и увеличивает долю жидкостного трения.

Наибольшую эффективность на практике ХПТ показали смазочные композиции на основе минерального или синтетического масла с большим содержанием хлорированных парафинов. Такие смазки не требуют подсмазочных покрытий, обеспечивают режим граничного трения, что позволяет поддерживать в процессе прокатки низкий уровень шероховатости поверхности труб.

В работах [1; 5] представлены результаты исследования влияния температуры и вязкости технологической смазки и СОЖ, имеющих в своем составе хлорированный парафин, на шероховатость поверхностей труб из нержавеющей стали X18H10T. При этом установлено, что с увеличением температуры уменьшение шероховатости внутренней поверхности труб происходит интенсивней, чем наружной из-за различия кинематической вязкости смазок. При снижении вязкости технологической смазки толщина смазочного слоя в очаге деформации уменьшается, что и является причиной изменения микрорельефа поверхности трубы.

Таким образом, достижение высокого качества поверхности возможно при поддержании оптимальной температуры СОЖ с высокими противозадирными свойствами, имеющими кинематическую вязкость в очаге деформации более 50 сСт, к которым относятся масляные композиции с хлорпарафином.

Отсутствию налипания при утонченной смазочной пленке способствует повышение активности атомарного хлора, выделяющегося на взаимодействующих контактных поверхностях металла и технологических инструментов.

Серьезным недостатком этих смазок является загрязнение окружающей среды выделяющимся вредными элементами (хлором). Наименьшее выделение хлора происходит при использовании хорошо стабилизированных хлорпарафинов.

Однако в связи с возможными выделениями хлора применять такие смазки можно только на специально оборудованных станах ХПТ, имеющих полностью закрытое рабочее пространство, снабженное вытяжной вентиляцией и фильтрами-поглотителями выделившегося хлора.

Не рекомендуется использовать технологические смазки, содержащие хлорированный парафин, на станах ХПТ с боковой загрузкой заготовок, поскольку при выводе оправки из заготовки пары хлора и газообразные выделения из смазки, локализованные внутри заготовки, выходят в открытое пространство, часто превышая предельно допустимую концентрацию хлора на рабочем месте вальцовщика.

Более безопасными являются технологические смазки, не содержащие хлор. Несмотря на то, что в эти смазки добавляют инертный наполнитель (загуститель) в виде особо мелкодисперсного хи-

мически осажденного мела, их эффективность, в части отсутствия налипания, уступает смазкам, содержащим хлорпарафин, а достигаемая шероховатость поверхности прокатанных труб находится на требуемом уровне.

Процессы ХПТ, как было показано выше, сопровождаются значительным выделением тепла, причем чем больше сопротивление деформации прокатываемого металла и интенсивность прокатки (подача, поворот, вытяжка, быстроходность), тем больше выделяется избыточное тепло. До более высокой температуры разогреваются прокатываемый металл, оправка, и калибры [5; 6].

В условиях интенсификации процессов стабилизация режимов деформации при ХПТ невозможна без эффективного принудительного охлаждения на большей части рабочего конуса, где максимальная температура металла. Таким образом, качество принудительного охлаждения металла и инструментов приобретает решающую роль для достижения высоких технико-экономических показателей процесса ХПТ.

Основным элементом принудительного охлаждения металла и инструмента является вид и свойства теплоносителя, в данном случае СОЖ. Двойная функция этого теплоносителя следует из его названия.

Исходя из особенностей пылевого способа прокатки труб на станах ХПТ, к СОЖ предъявляются следующие основные требования: эффективная смазка контактной поверхности «металл – калибр»; высокая теплопроводность и теплоемкость СОЖ; высокий коэффициент теплопередачи от металла к СОЖ; отсутствие кипения СОЖ на поверхности теплопередачи; достаточная термостабильность состава СОЖ, т. е. минимальное воздействие рабочей температуры на химический и структурный составы СОЖ; отсутствие вредных выделений и других вредных воздействий на окружающую среду; относительная дешевизна и доступность компонентов; легкая удаляемость с поверхности прокатанных труб.

В части эффективности смазки к СОЖ могут быть предъявлены те же требования, что и к технологической смазке для внутренней поверхности рабочего конуса. Однако с учетом различия условий, в которых работает смазка внутри и снаружи рабочего конуса, требования к смазочным свойствам СОЖ могут быть менее жесткими, в первую очередь, по причине постоянного обновления СОЖ на контактной поверхности «металл – калибр».

С учетом того, что на контактной поверхности ручья калибра присутствуют участки со значительными зонами относительного скольжения калибра по металлу, можно допустить существование гидродинамической составляющей [2; 4],

приводящей к нагнетанию СОЖ в очаг деформации, что способствует появлению элементов столь необходимого жидкостного (вязкого) трения.

Здесь присутствует определенное противоречие. С одной стороны, СОЖ должна быть достаточно вязкой, чтобы обеспечивать эффективные смазочные качества за счет толщины смазочного слоя на контактной поверхности, с другой – СОЖ должна быть достаточно жидкотекучей, чтобы хорошо омыwać (с необходимой скоростью) рабочие поверхности инструментов. В связи с этим нахождение оптимальной величины вязкости СОЖ является достаточно сложной задачей. Этот же показатель оказывает решающую роль на расход СОЖ, т. е. ее вынос из рабочей зоны валков рабочей клетки посредством прокатанной трубы. Коэффициент теплопроводности и теплоемкость СОЖ являются естественной характеристикой материала теплоносителя или его основного компонента.

На коэффициент теплопередачи, как уже указывалось ранее, существенно влияет скорость относительного движения теплоносителя по охлаждаемой поверхности и температура каплепадения СОЖ. Перегретый СОЖ создает на охлаждаемой поверхности газовую прослойку, переводящую теплообмен в новую категорию. Вместо контакта «металл – жидкость» образуется контакт «металл – газ (пар) – жидкость». В связи с крайне низкой теплопроводностью газов и паров коэффициент теплопередачи в этом случае резко (на два порядка) снижается [5].

Непременным свойством СОЖ является ее термостойкость в рабочем интервале температур, т. е. незначительное протекание процессов термической деструкции основного компонента СОЖ, происходящих под действием температуры и сил технологического сопротивления. В ряде случаев возникают процессы расслоения или деления фракции композиции СОЖ на, соответственно, отдельно смазочное и охлаждающее компоненты, что нежелательно.

С технологической точки зрения решающую роль при выборе состава СОЖ играет легкость удаления ее с поверхности прокатанных труб. С целью улучшения удаляемости в СОЖ вводят соответствующие активные присадки.

На ранних этапах развития способа ХПТ в качестве СОЖ применяли водные эмульсии различных масел, преимущественно растительного или животного происхождения. При относительно низкой интенсивности деформации на короткоходовых тихоходных станах ХПТ, когда температура металла незначительно превышала 100 °С, водные эмульсии, благодаря своей высокой теплопроводности и дешевизне, успешно выполняли свою роль. При этом смазочная функция водной эмульсии улучшалась как за счет свойств инги-

бируемых масел и смазочных композиций, так и за счет применения подсмазочных покрытий (фосфатного, оксалатного, медного и др.) [4].

Создание быстроходных и особенно длинноходовых быстроходных станов ХПТ позволило существенно повысить интенсивность деформации, что привело к росту температуры прокатываемого металла, перегреву СОЖ и недостаточному охлаждению по описанным выше причинам. Для прокатки труб на таких станах стали использовать СОЖ на основе минеральных или синтетических масел (масляные СОЖ) [6].

Длительное время, а в некоторых станах ХПТ и до настоящего времени, лучшей композицией СОЖ являлась смесь минерального масла с хлорированным парафином. Эффективность такой СОЖ была достаточно высока, что позволило отказаться от подсмазочных покрытий, наносимых на заготовку вредным химическим и трудоемким путем. Кроме того, эту же СОЖ стали использовать в качестве технологической смазки, подавая СОЖ через полый стержень на оправку, что существенно упростило технологический процесс. Процесс подачи СОЖ был локализован в рабочем пространстве, не требовал трудоемких ручных операций и был реализован внешними устройствами для подачи смазки вовнутрь трубы-заготовки.

Использование СОЖ с хлорпарафином повлекло за собой изменения в конструкции станков ХПТ. Их начали выпускать с герметизированным и вентилируемым рабочим пространством, а также снабжать улавливателями масляного тумана и выделяющегося из СОЖ хлора, образующегося в результате соударений струй СОЖ о быстро движущиеся валки и другие детали клетки.

Тем не менее, высокоэффективная СОЖ обеспечивала (при обильной подаче) прокатку труб из нержавеющей стали без нагрева заготовки с режимами работы, при которых температура металла достигала 200–220 °С, что выводило процесс при максимальной температуре металла на температурный уровень известного режима теплой прокатки.

Вредное воздействие хлора на окружающую среду и обслуживающий персонал привело к тому, что в ряде стран, особенно с высокой концентрацией промышленных производств, где насыщенность загрязнениями воздушного бассейна высока, использование хлорсодержащих смазок и СОЖ категорически запрещено.

На смену хлорсодержащей СОЖ на основе синтетических масел приходит безхлорная СОЖ. Процессы ХПТ с применением аналогичных СОЖ протекают достаточно успешно при умеренном тепловыделении.

На данном этапе развития процесса ХПТ интенсификация отвода избыточного тепла от ме-

талла рабочего конуса является одним из главных путей повышения эффективности данной технологии. При оценке эффективности теплоотвода СОЖ следует учитывать не только интенсивность деформации прокатываемого металла и выделяемого тепла, но и теплопроводность материала труб. В этой связи на величину теплоотвода существенное влияние оказывает толщина стенки трубы на рабочем конусе и готовой трубы. Тепло, выделившееся в толще металла, должно с помощью механизма теплопроводности распространиться к поверхности, с которой перейти в СОЖ и удалиться. Естественно, что при увеличении средней толщины стенки рабочего конуса интенсивность теплоотвода подаваемой на него СОЖ, при прочих равных условиях, будет меньше. Это еще раз указывает на необходимость создания СОЖ с более высокими теплотехническими характеристиками, а также на необходимость существенной рационализации способов ее подачи на металл и валки в пространстве клетки.

Поиск направлений создания рациональных технологических смазок для ведения оптимальных процессов производства труб в настоящее время активно продолжается.

В настоящее время в промышленности широко используются и дальнейшее распространение получают специальные автоматизированные системы технологической смазки в составе технологического оборудования как зарубежных станков КРВ, так и отечественных станков ХПТ [12]. На данных станах преимущественно применяют технологические смазки на основе минеральных, синтетических масел (Castrol TDN81, CR 51, СТВД-1, СТВД-2 и т.д.) и их рациональные композиции.

Современная система технологической смазки конструкции ООО «ЛЮБ СИСТЕМС» и ООО НПФ «Восток Плюс» третьего поколения широко используется в составе базового оборудования станков ХПТ 32, ХПТ 55 и ХПТ 90 трубного производства ООО «ПО «ОСКАР» (г. Никополь).

Циркуляционная система подачи технологической смазки и СОЖ предназначена для обеспечения подачи СОЖ (Houghton tube lubricant CR 51H, Castrol TDN81, СТВД и других) вязкостью до 850 сСт на стан ХПТ 32, которые совместимы со всеми уплотнениями NBR.

Принципиальная схема и основные технические характеристики автоматизированной системы технологической смазки конструкции ООО «ЛЮБ СИСТЕМС» и ООО НПФ «Восток Плюс» для модернизированного стана ХПТ 32 представлена на рис. 2 и в табл. 1. Оптимальные условия реализации процесса прокатки труб в условиях применения технологической смазки и СОЖ в соответствующих зонах очага деформации создаются защитными ограждениями пространства рабочей клетки со смотровыми окнами.

Система состоит из следующих основных узлов: бак для СОЖ; фильтровальный модуль; насосный блок; система подогрева СОЖ; блоки форсунок; щит управления

Бак для СОЖ состоит из двух отсеков: отработанной и чистой СОЖ, а также переливной перегородки между ними и предназначен для аккумуляции запаса СОЖ, необходимого для функционирования системы. Полезная емкость бака – около 1,7 м<sup>3</sup>, и он установлен ниже нулевой отметки стана. В баке устанавливается датчик (датчики) нижнего уровня для сигнализации о падении уровня СОЖ в баке ниже допустимого.

Насосный блок предназначен для подачи отфильтрованной СОЖ из отсека отфильтрованной СОЖ на стан, а также ее охлаждения до заданных пределов при необходимости.

Система подогрева СОЖ предназначена для разогрева СОЖ до заданных пределов, если ее температура ниже требуемой.

Фильтровальный модуль предназначен для фильтрации СОЖ из отсека отработанной СОЖ, и слива ее в отсек отфильтрованной СОЖ.

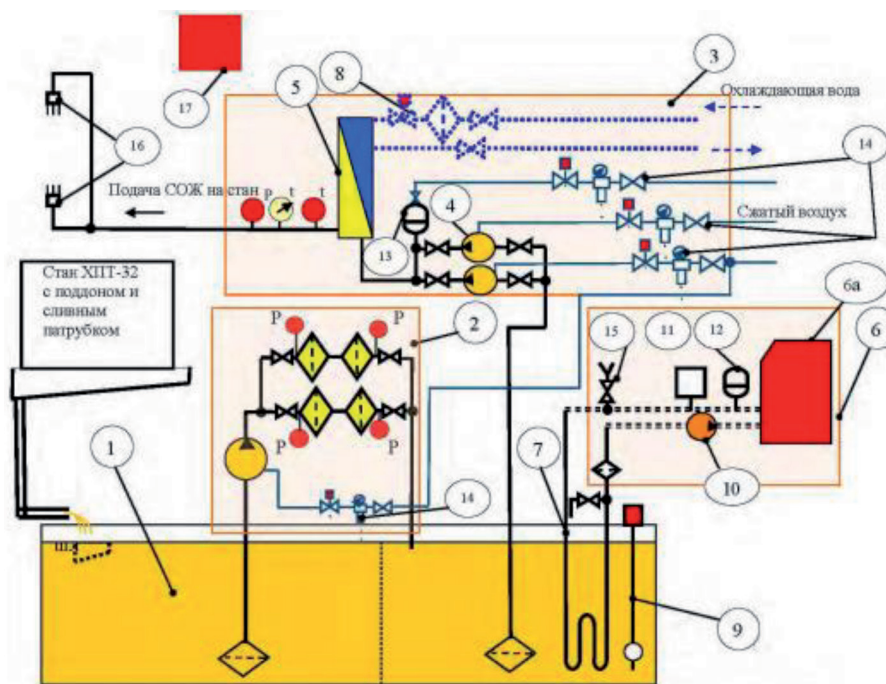
Система охлаждения СОЖ предназначена для поддержания температуры СОЖ теплообменным агрегатом (холодильником) в заданных пределах, если ее температура выше требуемого диапазона.

Блоки форсунок состоят из двух блоков форсунок, по 5 форсунок в каждом, создают направленные струи СОЖ для ее подачи в очаг деформации, на трубу и технологические инструменты. Конструкция форсунок позволяет регулировать направление подачи струй.

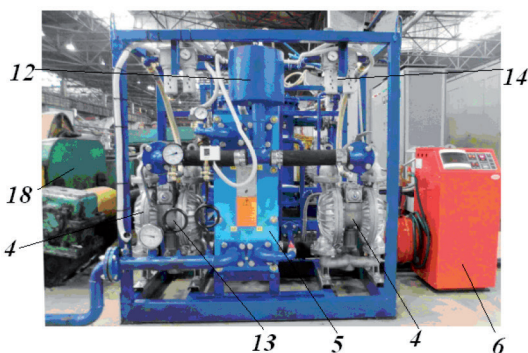
Трубопроводы предназначены для перемещения под давлением соответствующих сред, а кабели – для передачи соответствующих сигналов и электрического питания между элементами системы.

Подача СОЖ зависит от вязкости СОЖ, давления и подачи сжатого воздуха, а также сопротивления трубопроводов, запорной аппаратуры, теплообменника и может регулироваться двумя способами: давлением и подачей. Подача сжатого воздуха на диафрагменный насос осуществляется путем открывания соответствующего соленоидного клапана по сигналу из щита управления. Регулировка подачи воздуха и фильтрация сжатого воздуха осуществляется двухступенчатым фильтр-регулятором.

При включении пульта управления станом один из насосов 4 насосного блока 3 засасывает СОЖ из отсека отработанной СОЖ бака 1 и под давлением через теплообменник 5 подает СОЖ в трубопровод подачи СОЖ на стан, а оттуда на блоки форсунок подачи СОЖ в очаг деформации, инструмент и трубы. На напорном трубопроводе между насосами и теплообменником установлен демпфер пульсаций 13, который



а)



б)



в)

**Рис. 2. Принципиальная схема а), общей вид б) и форсунки в) автоматизированной системы подачи технологической смазки и СОЖ на стан ХПТ 32:**

- 1 – бак технологической смазки и СОЖ; 2 – фильтровальный модуль с пневмоприводным диафрагменным насосом; 3 – насосный блок; 4 – диафрагменные насосы с пневмоприводом; 5 – теплообменный агрегат (холодильник); 6. – электрический водяной котел; 7 – трубчатый водяной нагреватель; 8 – электромагнитный клапан холодной воды; датчик уровня; 9 – датчик уровня; 10 – циркуляционный насос; 11 – блок предохранительной и показывающей аппаратуры; 12 – расширительный бачек; 13 – демпфер пульсации; 14 – узлы подготовки воздуха с электромагнитными клапанами; 15 – заливной кран 16 – форсунки подачи СОЖ на стан; 17 – щит управления; 18 – стан ХПТ 32

сглаживает пульсации потока от двухтактного диафрагменного насоса за счет сжатого воздуха, находящегося в демпфере.

На напорном трубопроводе подачи СОЖ на стан расположены соответствующие датчики, дающие информацию о давлении и температуре СОЖ на пульт управления. При понижении давления СОЖ ниже допустимого на щите управления 17 загорается красный аварийный сигнал «Низкое давление СОЖ». При повышении температуры СОЖ до 40 °С включается подача холодной воды на теплообменник для обильного охлаждения СОЖ. При понижении температуры

СОЖ до 30 °С подача воды на теплообменник прекращается. В случае подъема температуры СОЖ до 42 °С и выше загорается соответствующий красный сигнал на щите управления.

Регулировка подачи СОЖ на стан осуществляется за счет изменения давления сжатого воздуха, подаваемого на насос.

Одновременно с насосным блоком включается фильтровальный модуль 2, который в режиме бай-пас обеспечивает фильтрацию СОЖ из отсека отработанной СОЖ бака 1 в рабочий отсек бака СОЖ. Рекомендуется регулировка производительности фильтровального модуля 2 таким



**Технические характеристики автоматизированной системы технологической смазки и СОЖ стана ХПТ 32**

1. Полезный объем накопительного бака	1,7 м <sup>3</sup>
2. Номинальная подача насосного блока при температуре СОЖ 20 °С (вязкости СОЖ не более 850 сСт и давлении сжатого воздуха не менее 5,5 бар)	190 л/мин
3. Максимальная вязкость масла, подаваемого диафрагменным насосом	1500 сСт
4. Давление сжатого воздуха, подаваемого на насос	3,0...7,0 бар
5. Максимально допустимое давление сжатого воздуха	7,0 бар
6. Максимальная и рекомендуемая высота сухого всасывания диафрагменного насоса (не более)	5,5/3,5 м
7. Тонкость фильтрации фильтровальной установки 6 (1 ступень/2 ступень)	100 мкм / 50 мкм
8. Тонкость фильтрации всасывающих и приемных фильтров	8/4 мм
9. Перепад давления на блоке фильтров (в зависимости от настройки реле давления)	5,0 бар
10. Условный проход трубопроводов всасывающего и нагнетающей линий СОЖ	80 мм
11. Количество форсунок (суммарное)	10
12. Начальный диаметр сопел форсунок	5 мм
13. Теплообменник и система подогрева СОЖ:	
13.1. Площадь теплообмена	6,0 м <sup>2</sup>
13.2. Количество пластин	50
13.3. Максимальное рабочее давление	16 бар
13.4. Максимально допустимый размер твердых включений в жидких средах теплообменника (не более)	2,0 мм
13.5. Нижний температурный предел – выключение охлаждения и подогрева СОЖ (начальная установка)	+30 °С
13.6. Верхний температурный предел – включение охлаждения	+40 °С**
13.7. Температура включения подогрева СОЖ	+24,0 °С
13.8. Объем теплоносителя	75 л
13.9. Теплоноситель	«Фритерм-30»
13.10. Температура теплоносителя (макс)	+90°С
13.11. Мощность котла	15 кВт

образом, чтобы его производительность была несколько больше (в 1,15–1,2 раза) производительности насосной установки.

Избыток фильтрованной СОЖ через переливную перегородку будет возвращаться в отсек отработанной СОЖ. Таким образом в отсеке отфильтрованной СОЖ всегда будет очищенная СОЖ. Отработанная СОЖ со стана через сливной патрубок стана сливается через сливной фильтр непосредственно в отсек отработанной СОЖ бака 1.

Перед началом работы, если температура СОЖ ниже 20 °С, ее необходимо заблаговременно подогреть до нужной температуры. Для этого предназначена система нагрева СОЖ 6. Водяной нагреватель масла находится в баке и непосредственно омывается СОЖ. Нагрев СОЖ включается автоматически при температуре ниже заданной минимальной, а выключается при температуре выше заданной максимальной.

В системе подогрева СОЖ: используется жидкость для отопительных систем «ФРИТЕРМ-30». На боковой стенке котла находится панель измерителя – регулятора температуры ТРМ 1.

При повышении температуры СОЖ выше допустимой технологическим режимом прокатки трубы автоматически открывается соленоидный клапан холодной воды (осуществляется охлаждение СОЖ). Из теплообменника СОЖ подается

в трубопровод подачи СОЖ к приемному патрубку для подвода СОЖ в рабочую зону стана ХПТ. На подающем трубопроводе установлены датчики температуры и давления, подаваемой на стан СОЖ, а также приборы для визуального контроля этих параметров. Этот диапазон может быть изменен с помощью измерителя-регулятора ТРМ1. Котел имеет возможность регулировки параметров теплоносителя для изменения скорости и мощности подогрева.

Включение (открывание) – отключение (закрывание) соленоидного клапана холодной и горячей воды происходит по сигналу с датчика температуры после теплообменника.

Переключение соответствующих насосов СОЖ блока осуществляется соответствующим включением-выключением переключателей на щите управления всей системой. Для возможности демонтажа насосов, их замены и ремонта или обслуживания предусмотрены соответствующие шаровые краны для отсечения их от трубопроводов СОЖ и сжатого воздуха.

В случае падения давления, на подающем трубопроводе ниже установленного (при поставке 0,5 бар) датчик давления, установленный на подающем трубопроводе, подает сигнал, и на щите управления загорается красная светодиодная лампа.

Предварительный съем СОЖ с наружной поверхности труб и ее возврат в рабочее пространство клетки осуществляется блоком маслосъемных колец, встроенных в передний патрон стана.

**Выводы.** Приведен анализ технологических смазок и масляной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) для процесса холодной пильгерной прокатки труб. Разработана принципиальная схема автоматизированной системы технологической смазки и СОЖ и осуществлен выбор основных технических характеристик жидких смазок для станков ХПТ. Предложена современная система технологической смазки и масляной смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) для модернизированных станков ХПТ. Разработаны рациональные условия реализации процесса ХПТ с учетом применения жидких технологических смазок и СОЖ в соответствующих зонах очага деформации. В производственных условиях ряда предприятий ООО «ПО «ОСКАР», ООО ВТУ «Титан Украина» и ООО «СЕНТРАВИС ПРОДАК-ШИН ЮКРЕЙН» в составе базового технологического оборудования станков ХПТ 32, ХПТ 55 и ХПТ 90 по производству холоднокатаных труб установлены различные системы смазки и масляной СОЖ конструкции ООО «ЛЮБ СИСТЕМС» и ООО НПФ «Восток Плюс» третьего поколения. Достигнуто значительное повышение качества поверхности и стабилизации структуры прокатываемых труб.

#### Библиографический список / References

1. Фролов В. Ф. Холодная прокатка труб: монография / В. Ф. Фролов, В. Н. Данченко, Я. В. Фролов. – Днепропетровск: Пороги, 2005. – 255 с.  
Frolov V. F., Danchenko V. N., Frolov Ya. V. *Kholodnaya prokatka trub*. Dnepropetrovsk, Porogi, 2005, 255 p.
2. Грудев А. П. Технологические смазки в прокатном производстве / А. П. Грудев, В. Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1975. – 454 с.  
Grudev A. P., Tilik V. T. *Tekhnologicheskie smazki v prokatnom proizvodstve*. Moscow, Metallurgiya, 1975, 454 p.
3. Вайнштейн В. Э. Сухие смазки и самосмазывающиеся материалы / В. Э. Вайнштейн, Г. Н. Трояновская. – М.: Машиностроение, 1968. – 275 с.  
Vaynshteyn V. E., Troyanovskaya G. N. *Sukhie smazki i samosmazuyayushchiesya materialy*. Moscow, Mashinostroenie, 1968, 275 p.
4. Шепелева Л. С. Технологические смазки для холодной обработки металлов давлением (обзор патентов): Обзорная информация. Сер. 8, вып. 4 / Л. С. Шепелева, В. Н. Колесников, З. В. Путяткина. – М.: Черметинформация, 1978. – 10 с.

Shepeleva L. S., Kolesnikov V. N., Putyatina Z. V. *Tekhnologicheskie smazki dlya kholodnoy obrabotki metallov davleniem (obzor patentov): Obzornaya informatsiya*. Ser. 8, issue 4. Moscow, Chermetinformatsiya, 1978, 10 p.

5. Згура А. А. Выбор способов отвода тепла от деформируемого металла при прокатке труб на станках ХПТ // А. А. Згура, К. М. Бильдин, И. Н. Ефимова, С. А. Морозова // Повышение эффективности процессов и оборудования для трубного производства. – 1988. – С. 50–54.

Zgura A. A., Bil'din K. M., Efimova I. N., Morozova S. A. *Vybor sposobov otvoda tepla ot deformiruemogo metalla pri prokatke trub na stanakh KhPT. Povyshenie effektivnosti protsessov i oborudovaniya dlya trubnogo proizvodstva*. 1988, pp. 50-54.

6. Фролов Я. В. Определение температуры металла при холодной пильгерной прокатке труб / Я. В. Фролов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 3. – С. 351–354.

Frolov Ya. V. *Opredelenie temperatury metalla pri kholodnoy pil'gernoy prokatke trub*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2003, no. 3, pp. 351-354.

7. Атанасов В. Р. Развитие процессов пильгерной прокатки прецизионных труб: монография / В. Р. Атанасов, Ю. М. Беликов, А. А. Терещенко. – Днепропетровск: Січ, 2014. – 136 с.

Atanasov V. R., Belikov Yu. M., Tereshchenko A. A. *Razvitie protsessov pil'gernoy prokatki pretsizionnykh trub*. Dnepropetrovsk, Sich, 2014, 136 p.

**Purpose.** Improving the efficiency of the process of cold pilger rolling of pipes by improving the system of technological lubricants and oil coolant.

**Methodology.** Complex analysis of systems of technological lubricants and oil coolant. Perfection of designs of systems of technological greases and oil coolants used for cold pilger rolling of pipes.

**Findings.** Rational conditions for the realization of the process of cold rolling of pipes are determined taking into account the application of process lubrication and coolant in the corresponding zones of the deformation center.

**Practical value.** A modern system of technological lubrication and an oil cooling lubricant for modernized HPT mills has been developed. In the conditions of a number of enterprises (OSKAR LLC, VTU Titan Ukraine LLC and CENTRAVIS PRODUCTION UKRAINE LLC), in the production of cold-rolled pipes on the basic equipment of HPT 32, KhPT 55 and KhPT 90 mills, various process lubrication systems and oil Coolant) of LLC «LYUB SYSTEMS» and ООО NPF «Vostok Plus» of the third generation.

**Key words:** deformation center, friction, pipe, mill, cold pilge rolling, process lubricant, cooling lubricant.

Поступила 22.11.2017